Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 14, No. 2, 2024, p. 105-118

Investigation of Brown Rice Losses in the Paddy Drying Process

S. Sharifi[1], M. H. Aghkhani[2*], A. Rohani[2]

1- MSc Graduate Student in Agricultural Mechanization, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: aghkhani@um.ac.ir)

Received: 02 March 2021 Revised: 16 August 2021 Accepted: 08 September 2021 Available Online: 08 September 2021	**How to cite this article:** Sharifi, S., Aghkhani, M. H., & Rohani, A. (2024). Investigation of Brown Rice Losses in the Paddy Drying Process. *Journal of Agricultural Machinery, 14*(2), 105-118. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2021.69208.1026

Introduction

On the field and in the paddy milling factory dryer losses have always been challenging issues in the rice industry. Different forms of losses in brown rice may occur depending on the field and factory conditions. To reduce the losses, proper management during pre-harvest, harvesting, and post-harvest operations is essential. In this study, different on-field drying and tempering methods were investigated to detect different forms of brown rice losses.

Materials and Methods

The present study was conducted on the most common Hashemi paddy variety during the 2019-2020 season in Talesh, Rezvanshahr, and Masal cities in the Guilan province, Iran with 0.2 hectares and 5 paddy milling factory dryers. On the fields, the method and date of tillage, irrigation, and transplanting used in all experimental units were the same. Moreover, the same amount of fertilizer and similar spraying methods were used across all experiments. For the pre-drying process on the fields, the following three pre-drying methods were applied on the harvest day: A1) The paddies were spread on the cut stems for insolating, A2) The paddies were stacked and stored after being placed on the cut stems for 5h, and A3) The paddies were covered with plastic wrap and stored after 5h of insolating. The first method (A1) is the most common in the area and was chosen as the control treatment. For the second step of the process, the time interval between the on-field pre-drying and threshing was considered: B1) 14 to 19h post-harvest; B2) 20 to 24h post-harvest, and B3) 25 to 29h post-harvest. Afterward, methods A1 to A3 were combined with methods B1 to B3 and feed into an axial flow-thresher at 10 kg min^{-1}, 550 rpm PTO, and two levels of moisture content at 19 and 26 percent (% w.b). The third process was two-stage or three-stage tempering for 10 or 15 hours resulting in four levels (C1 to C4) and was done in the conventional batch type dryer under temperatures of 40 and 50 ˚C and airspeeds of 0.5 and 0.8 m s^{-1} in paddy milling factories. At the end of each process, a 100g sample was oven-dried for 48h and a microscope achromatic objective 40x was used to detect incomplete horizontal or vertical cracks, tortoise pattern cracks, and immature and chalky grains. The equilibrium moisture content was determined to be 7.3 percent. Losses properties were analyzed using a completely randomized factorial design with a randomized block followed by Tukey's HSD test at the 5% probability and comparisons among the three replications were made.

Results and Discussion

Results demonstrated that the stack and plastic drying methods significantly increased the percentage of losses. In the plastic drying method, the percentage of chalky grains and tortoise pattern cracks was higher than other forms of loss. In the first process, irrespective of the pre-drying method, the losses were reduced at a lower level of moisture content. At the end of the first stage, losses in the spreading method were significantly lower at 19% moisture content. Threshing the plastic-wrapped paddies after 14 to 19 hours at 19% moisture content

https://doi.org/10.22067/jam.2021.69208.1026

resulted in the maximum threshing loss of 8.446% and over half of the grains were chalky or had tortoise pattern cracks. The threshing loss was halved (4.443%) for paddies threshed 25 to 29h after spreading at a moisture content of 26%. The mean of losses in the second step of the process were 7.229, 5.585, and 5.156% for the time interval between the on-field pre-drying and threshing of 14 to 19h, 20 to 24h, and 25 to 29h, respectively. In the last step of the process in paddy milling factory dryers, there was no significant difference in the minimum percent of losses between 10 and 15 hours of three-stage tempering at 40 °C and with 0.5 m s^{-1} airspeed. Furthermore, maximum total losses with the most incomplete horizontal and vertical cracks occurred in the two-stage 10h tempering at 50 °C and with 0.5 and 0.8 m s^{-1} airspeed.

Conclusion

Food security has always been a critical matter in developing countries. Furthermore, identifying the source of losses in the fields and the factories is one way to reduce losses and achieve food security. Stacking or wrapping the paddies in plastic after pre-drying on the fields for 5h is not recommended in terms of its effect on increasing the percentage of brown rice losses. Additionally, due to the importance of factory dryer scheduling in the management of the losses, it is recommended to use a three-stage 10h tempering at 40 °C and with 0.5 m s^{-1} airspeed.

Keywords: Brown rice, Crack, Drying, Losses, Paddy milling factory

نشریه ماشین‌های کشاورزی

https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۱۸-۱۰۵

بررسی میزان ضایعات برنج قهوه‌ای در فرآیند خشک‌کردن شلتوک

سینا شریفی[1]، محمد حسین آق‌خانی[2]*، عباس روحانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

چکیده

فرآیندهای خشک‌کردن شلتوک، همواره چالشی‌ترین مسائل صنعت برنج می‌باشد. هدف تحقیق، بررسی میزان ضایعات خشک‌کردن در مزرعه و کارخانه در سه شهرستان گیلان بود. بدین منظور، اثرهای اصلی و متقابل فاکتورهای مستقل محتوای رطوبتی زمان برداشت (۱۹ و ۲۶ درصد)، زمان برداشت تا خرمنکوبی (۱۹-۱۴، ۲۴-۲۰ و ۲۹-۲۵ ساعت)، روش‌های خشک‌کردن در مزرعه (پخش کامل شالی بر روی ساقه‌ها، پخش پنج ساعت شالی بر روی ساقه‌ها+توده کردن، و پخش پنج ساعت شالی بر روی ساقه‌ها+استفاده از پلاستیک)، و استراحت‌دهی (دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای هرکدام با ۱۰ و ۱۵ ساعت استراحت‌دهی)، دمای خشک‌کن (۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) و سرعت باد (۰/۵ و ۰/۸ متر بر ثانیه) بر فاکتورهای وابسته (دانه‌های نارس، گچی، دانه‌های دو و سه‌تَرَک و تَرَک لاک‌پشتی در برنج قهوه‌ای) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بررسی شدند. از طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی استفاده شد. براساس نتایج، اثرهای اصلی فاکتورهای مستقل بر ایجاد ضایعات معنادار بودند ($P<0.05$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمینه ضایعات در روش پخش‌کردن کامل، در محتوای رطوبتی ۲۶ درصد، به میزان ۱/۴۶۵ درصد بود. بیشترین تاثیر استفاده از پلاستیک در شکل‌گیری ضایعات به شکل تَرَک لاک‌پشتی و دانه‌گچی بود. در سطح مزرعه پس از ۱۴ تا ۱۹ ساعت پیش خشک‌کردن، بیشینه ضایعات به‌دست آمد، که سهم سه‌تَرَک ناکامل طولی، دوتَرَک ناکامل عرضی و دانه نارس به‌ترتیب به میزان ۱۱/۴۱۰، ۸/۷۳۰ و ۸/۴۷۱ درصد بود. در سطح کارخانه، کمترین ضایعات در ترکیب فاکتوری استراحت‌دهی سه مرحله‌ای ۱۵ ساعت، دمای خشک‌کن ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۶/۰۲۷ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: برنج قهوه‌ای، تَرَک، خشک‌کردن، ضایعات، کارخانه تبدیل شلتوک

مقدمه

استان گیلان دارای ۲۵۹/۶ هزار هکتار سطح زیرکشت انواع محصولات زراعی بوده که از این میزان، ۲۲۰ هزار هکتار برنج کشت می‌شود. میزان تولید انواع گونه‌های شلتوک کشور حدود ۳/۱ میلیون تن از مجموع سطوح زراعی بوده، که سهم استان گیلان ۱/۰۹ میلیون تن بوده است (Anonymous, 2018). محصول برنج به‌منظور استفاده خانوار بایستی از شالی و شلتوک به برنج سفید تبدیل شود. رطوبت شالی وابسته به شرایط جویِ زمان برداشت، روش برداشت، واریته و میزان رسیدگی دانه به‌طور معمول از ۱۵ تا ۲۶ درصد متغیر می‌باشد؛ برای نگه‌داری شلتوک در انبار و تبدیل، باید رطوبت محصول کاهش داده شود (Abayawickrama, Reinke, Fitzgerald, Harper, & Burrows, 2017; Heidari Soltanabadi, Malek, Ghazvini, Shaaker, & Hedayati Zadeh, 2010). با توجه به مطالعات اپیدمیولوژیکی سازمان بهداشت جهانی (Krzyżanowski, Kuna-Dibbert, & Schneider, 2005)، انرژی رایگان و پاک خورشیدی با توجه به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی، تاثیر چشم‌گیری بر سلامت بشر داشته است (Udomkun *et al.*, 2020). همچنین، خشک‌کردن در معرض آفتاب در هنگام صبح، موجب افزایش راندمان برنج سفید شده است (Xangsayasane, Vongxayya, Phongchanmisai, Mitchell, & Fukai, 2019). استفاده از این منبع برای خشک‌کردن شلتوک غیرقابل چشم‌پوشی است.

در تحقیقی تاثیر زمان خشک‌کردن پس از برداشت رقم هاشمی

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: aghkhani@um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jam.2021.69208.1026

بر راندمان برنج سفید سالم، از روش پخش‌کردن کامل شالی‌ها به مدت یک شبانه‌روز بررسی شد و نتایج نشان داده است که بیشترین راندمان برنج سفید سالم (۵۸/۷۸ درصد) در استفاده از خشک‌کردن در کارخانه بلافاصله پس از پیش خشک‌کردن در مزرعه بوده است (Allameh & Alizadeh, 2013). بررسی تاثیر فعالیت‌های میکروبی رقم‌های زودرس و دانه‌کوتاه در امریکا نشان داد که فاصله‌ی ۴۸ ساعت بین پیش خشک‌کردن در مزرعه تا خشک‌کردن در کارخانه برای شلتوک با محتوای رطوبتی ۱۷ تا ۲۱ درصد، هیچ افزایش معناداری در محتوای فرار ۱۰ فعالیت میکروبی در برنج سفید، ایجاد نکرده است؛ همین‌طور برای رطوبت‌های ۲۴ درصد و بیشتر از آن، محتوای فرار شش فعالیت میکروبی در برنج سفید با گذشت زمان افزایش چشم‌گیری داشته است (Champagne *et al.*, 2004). دمای زیاد هوا و شدت تابش کم خورشید موجب اخلال در انتقال مواد ذخیره‌ای حاصل از فتوسنتز شده و باعث شده در سنبلچه‌های تحتانی نشاسته بیشتری ذخیره شود و نسبت به سنبلچه‌های فوقانی دارای درصد دانه گچی بیشتری باشد (Tsukaguchi & Iida, 2008). دانه‌های گچی و دانه‌های تَرَک‌دار از جمله صفاتی هستند که کیفیت تبدیل را تحت تاثیر قرار می‌دهند. شکاف‌های دانه زمانی اتفاق می‌افتد که میزان رطوبت بین مرکز و سطح دانه یکسان نباشد و جذب و دفع سریع رطوبت رخ دهد که این مسئله موجب افزایش گرادیان رطوبتی در لایه‌های سطحی، میانی و مرکزی و افزایش احتمال ایجاد ضایعات می‌شود (Abayawickrama *et al.*, 2017; Mukhopadhyay & Siebenmorgen, 2018).

استراحت‌دهی[1] مرحله موثر و پذیرفته‌شده برای کاهش گرادیان رطوبتی شلتوک در هنگام استفاده از خشک‌کن دمای بالا در کارخانه‌های شالی‌کوبی می‌باشد. دمای استراحت‌دهی بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای به کاهش تنش‌های درونی دانه کمک می‌کند؛ به‌ویژه که برای تسریع در فرآیند خشک‌کردن احتیاج به دمای خشک‌کن بالاتر نیاز است (Truong, Truong, Fukai, & Bhandari, 2012). تحقیقات متعددی به بررسی خشک‌کردن چند مرحله‌ای به روش بسترسیال و نیمه‌سیال پرداخته شده است (Poomsa-ad, Soponronnarit, Prachayawarakorn, & Terdyothin, 2002; Golmohammadi, Rajabi-Hamane, & Hashemi, 2012; Bootkote, Soponronnarit, & Prachayawarakorn, 2016)، اما با توجه به این‌که بیشتر خشک‌کن‌های برنج شمال کشور از نوع بستر ثابت جریان همرفتی است، بنابراین لزوم تحقیق در این زمینه احساس می‌شود. در این راستا، در تحقیقی اثر خشک‌کردن یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای بر بازده تبدیل و مدت زمان خشک‌کردن رقم دانه بلند خزر طی دو سال زراعی بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مراحل خشک‌کردن، اثر قابل‌توجهی بر درصد برنج قهوه‌ای و بازده تبدیل نداشته است، اما درصد برنج سالم طی خشک‌کردن سه مرحله‌ای در هر دو سال بیشترین، و روش‌های دو و یک مرحله‌ای به‌ترتیب کمترین مقدار را داشته است (TajaddodiTalab, 2005). نتایج بررسی سطوح دمای خشک‌کن ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوای ۰/۴ و ۰/۶ متر بر ثانیه نشان داد که دما نسبت به سرعت جریان هوا، تاثیر بیشتری بر درصد ترک‌خوردگی شلتوک رقم هاشمی داشته است (Mohajeran, Khoshtaghaza, & Moazami Gudarzi, 2006). در تحقیقی، بررسی اثر خشک‌کردن به‌صورت متناوب و پیوسته بر تَرَک‌خوردگی شلتوک رقم‌های هاشمی و کوهسار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل بیانگر آن بود که در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تعداد دانه‌های دارای دو تَرَک و بیش از دو تَرَک نسبت به مقادیر مشابه در دو دمای ۳۰ و ۴۵ درجه سلسیوس بیشتر بوده است؛ همچنین مشاهده شده است که ۴۸ ساعت پس از خشک شدن، تعداد ترک‌ها نسبت به تَرَک‌های ایجادشده بلافاصله پس از عملیات خشک‌کردن، به‌دلیل گسترش ترک‌های ریز ایجاد شده درون دانه، افزایش یافته است (Sadeghi, Ghasemi, & Mireei, 2016).

به‌منظور کاهش ضایعات ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی و جلوگیری از کاهش ارزش تغذیه‌ای محصول برنج مدیریت صحیح و به‌هنگام عملیات کشت و پرورش، برداشت و پس از برداشت ضروری است (TajaddodiTalab, 2005; Gimenez, Salinas, & Manzano-Agugliaro, 2018). با توجه به اهمیت مدیریت ضایعات و تاثیر زیادی که مرحله خشک‌کردن بر ایجاد ضایعات دارد، بیشتر تحقیقات انجام شده پیرامون خشک‌کردن چند مرحله‌ای برای ارقام مختلف و تحت شرایط متفاوت در کارخانجات تبدیل و برنج سفید بوده است (Eshtavad, Kalantari, Hashemi, & Pirdashti, 2016; Li, Wang, Li, Jiang, & Lu, 2016; Dong, Lu, Liu, Koide, & Cao, 2010). اما تاثیر شرایط پیش از خشک‌کردن در مزرعه و همین‌طور شکل‌های مختلف ضایعات در نظر گرفته نشده است.

هدف از تحقیق پیش‌رو، بررسی میزان ضایعات در فرآیندهای خشک‌کردن در مزرعه و استراحت‌دهی در خشک‌کن‌های کارخانجات تبدیل برنج در سه شهرستان استان گیلان است. با توجه به تاثیر بسیار زیادی که فرآیندهای آغازین در تولید برنج بر ایجاد ضایعات دارند، تحقیق حاضر می‌تواند گامی موثر در راه رسیدن به آگاهی هرچه بیشتر دست‌اندرکاران بخش برنج کشور باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

مطالعه حاضر در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در پنج شالیزار هر کدام

1- Tempering

به مساحت ۰/۲ هکتار و پنج کارخانه تبدیل برنج در سه شهرستان تالش، رضوانشهر و ماسال در عرض جغرافیایی بین ۳۷°۲۱'۰۰" تا ۳۷°۴۸'۰۱" درجه شمالی و طول جغرافیایی بین ۴۸°۵۴'۰۱" تا ۴۹°۰۹'۰۱" درجه شرقی صورت گرفت. مرحله پیش‌آزمون برای بررسی شکل‌های مختلف ضایعات، در برنج قهوه‌ای سه روز پیش از شروع مرحله اصلی داده‌برداری، انجام شد.

شرایط کشت، پرورش و برداشت

شلتوک مورد بررسی، رقم هاشمی یکی از ارقام دانه‌بلند و غالب منطقه بود. زمان کشت نشاءها هفته دوم و سوم اردیبهشت و عملیات واکاری در دو مرحله به‌ترتیب پس از گذشت یک ماه و ۵۰ روز انجام شد. همچنین، از نشاءکار جهت کشت محصول به‌صورت چهار گیاهچه در هر کپه، به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. آبیاری غرقابی قطعات آزمایشی ۳۰ روز پس از شروع خوشه‌دهی ادامه داشت. میانگین ارتفاع آب در مزرعه سه سانتی‌متر بود. میزان استفاده از کود نیتروژن به‌صورت خالص (از منبع اوره) ۹۰ کیلوگرم در هکتار بود که یک سوم آن در زمان تهیه زمین، یک سوم آن در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و یک سوم دیگر در مرحله ظهور خوشه در زمین پخش شد. همچنین، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص (از منبع سوپر فسفات) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاس خالص (از منبع کلرید پتاسیم) قبل از تسطیح زمین به خاک افزوده شد. عملیات وجین علف‌های هرز، در تمام واحدهای آزمایشی یکسان به‌طور دستی و در دو مرحله صورت گرفت. به‌منظور مبارزه با آفت‌های کرم ساقه‌خوار نواری برنج (*Chilosuppressalis*) و کرم سبز برگ‌خوار برنج (*Narangaaenescens*) از محلول پنج درصد دیازینون، در زمان‌های وجین و گلدهی (زایشی) استفاده شد. برداشت محصول، هفت روز پس از مشاهده ۸۰ درصد حالت شیری سفت انجام شد. عملیات برداشت با داس، هفته آخر مرداد و در سه زمان پیش و پس از ظهر و هنگام غروب آفتاب در دو سطح محتوای رطوبتی ۱۹ و ۲۶ درصد انجام شد.

آزمون‌های خشک‌کردن

در فرآیند اول پیش خشک‌کردن[1] در سطح مزرعه، سه روش مجزای ذیل در نظر گرفته شدند. A_1) شالی‌ها بر روی ساقه‌های بریده‌شده، قرار داده شدند و این روش به‌دلیل متداول بودن در منطقه، به‌عنوان تیمار شاهد انتخاب شد؛ A_2) شالی‌ها، پس از پنج ساعت قرارگیری بر روی ساقه‌های بریده‌شده، هنگام غروب از سطح مزرعه جمع‌آوری و توده شدند و A_3) شالی‌ها، پس از پنج ساعت، هنگام غروب با پوشش پلاستیکی پوشانده شدند. در فرآیند دوم، فاصله‌های زمانی خشک‌کردن شالی‌ها در سطح مزرعه تا خرمنکوبی در نظر گرفته شدند. B_1) ۱۴ تا ۱۹ ساعت پس از برداشت؛ B_2) ۲۰ تا ۲۴ ساعت پس از برداشت؛ پخش کامل شالی در این فاصله زمانی در محتوای رطوبتی ۱۹ درصد بر پایه وزن تر به‌دلیل مرسوم بودن روش به عنوان تیمار شاهد انتخاب شد، و B_3) ۲۵ تا ۲۹ ساعت پس از برداشت، بررسی شدند. هر کدام از روش‌های A_1 تا A_3، با روش‌های B_1 تا B_3 برای تبدیل شالی به شلتوک ترکیب شدند تا از خرمنکوب جریان‌محوری با نرخ خوراک‌دهی ۱۰ کیلوگرم بر دقیقه، دور PTO ۵۵۰ RPM (Khodabakhshi Pour, Alizadeh, Bolouki, & Ghasemi, 2011) و محتوای رطوبتی ۱۹ و ۲۶ درصد بر پایه وزن تر استفاده شود. در فرآیند سوم خشک‌کردن، شلتوک‌های ترکیب‌شده در دو فرآیند قبلی به تفکیک روش‌های سه‌گانه پیش خشک‌کردن در سطوح رطوبت نهایی زمان برداشت به نسبت‌های مساوی با سطح‌های فاصله‌های زمانی پس از برداشت به خشک‌کن‌های کارخانجات تبدیل، انتقال داده شدند. خشک‌کن‌های کارخانجات، از جنس سیمان و در کف دارای صفحه مشبک فلزی جهت ورود هوای گرم مشعل بودند. این خشک‌کن‌ها دارای طول ۶ متر، عرض ۲ متر و عمق یک متر بودند، که تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از شلتوک پُر شدند. از چهار روش C_1 تا C_4 در خشک‌کن‌های همرفتی صنعتی غیرپیوسته بستر افقی استفاده شد. C_1) استراحت‌دهی دو مرحله‌ای (تیمار شاهد): مرحله اول خشک‌کردن تا رطوبت ۱۵ تا ۱۶ درصد و سپس توقف و خاموشی دستگاه به مدت ۱۰ ساعت و مرحله دوم خشک‌کردن تا رطوبت نهایی ۱۳درصد؛ این روش با دمای خشک‌کن ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۰/۸ متر بر ثانیه روش مرسوم و متداول برای خشک‌کردن شلتوک می‌باشد؛ C_2) استراحت‌دهی دو مرحله‌ای: مرحله اول خشک‌کردن تا رطوبت ۱۵ تا ۱۶ درصد و سپس توقف و خاموشی دستگاه به مدت ۱۵ ساعت و مرحله دوم خشک‌کردن تا رطوبت نهایی۱۳ درصد؛ C_3) استراحت‌دهی سه مرحله‌ای: مرحله اول خشک‌کردن تا رطوبت ۱۵ تا ۱۶ درصد و سپس توقف و خاموشی دستگاه به مدت ۱۰ ساعت مرحله دوم خشک‌کردن تا رطوبت ۱۳ تا ۱۴ درصد و توقف مجدد خشکاندن به مدت ۱۰ ساعت و مرحله سوم خشک‌کردن تا رطوبت نهایی ۱۳ درصد و C_4) استراحت‌دهی سه مرحله‌ای: مرحله اول خشک‌کردن تا رطوبت ۱۵ تا ۱۶ درصد و سپس توقف و خاموشی دستگاه به مدت ۱۵ ساعت مرحله دوم خشک‌کردن تا رطوبت ۱۳ تا ۱۴ درصد و توقف مجدد خشکاندن به مدت ۱۵ ساعت و مرحله سوم خشک‌کردن تا رطوبت نهایی ۱۳ درصد. پس از اتمام هر مرحله از استراحت‌دهی، از عمق ۳۰ سانتی‌متری ۱۰۰ گرم دانه سالم به‌طور تصادفی انتخاب شدند تا به‌وسیله رطوبت‌سنج مدل Gwon-GMK با دقت ۰/۰۱ تعیین رطوبت شوند. همچنین، پس از اتمام هر فرآیند خشک‌کردن در سطوح مزارع و کارخانجات تبدیل، پس از جداسازی مواد خارجی معدنی و آلی، مقدار ۸۰۰ گرم از شلتوک به‌طور تصادفی با دقت ۰/۰۱ وزن شدند. برای آماده‌سازی،

1- Pre-drying

نمونه‌ها در بسته‌های نایلونی زیپ‌کیپ بسته‌بندی و در یخچال با دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت نگهداری شدند (Sadeghi *et al.*, 2016). برای تعیین محتوای رطوبتی دانه‌ها و درستی داده‌های به‌دست‌آمده از آون آزمایشگاهی، ۱۰ نمونه ۱۰ گرمی شلتوک را در آون با دمای ۱۳۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس وزن نمونه‌ها قبل و بعد از خروج از آون ثبت و طبق رابطه (۱)، رطوبت نمونه‌ها براساس وزن تر محاسبه و دستگاه کالیبره شود (ASAE, 1998).

$$MC_w = \frac{G_w - G_D}{G_w} \times 100 \qquad (۱)$$

بر اساس رابطه (۱)، MC_w: محتوای رطوبتی بر پایه تر (درصد)، G_w: جرم اولیه محصول (kg) و G_D: جرم نهایی محصول پس از خشک شدن در آون (kg) بود. به‌دلیل وجود محتوای رطوبتی ۱۵ تا ۱۶ درصد محصول پس از اتمام فرآیند اول و دوم، از خشک‌کردن دو مرحله‌ای با استراحت‌دهی پنج ساعت برای کاهش رطوبت تا سطح ۱۳ درصد استفاده شد.

به‌طور معمول محتوای رطوبتی لازم برای تبدیل کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد (Gazor & Moumeni, 2019). برای خشک‌کردن یکسان، ملایم و خروج رطوبت از دانه به کمک آون آزمایشگاهی از دو شرایط خشک‌کردن برای دست‌یابی به رطوبت تعادلی استفاده شد. از محتوای رطوبت تعادلی[1] برای به تعادل رساندن محتوای رطوبتی محصول با هوای اطراف دانه به‌منظور به صفر رساندن تبادل رطوبتی محصول و هوای اطراف آن استفاده شد. در زمان تعادل رطوبتی هیچ‌گونه جذب و دفع بین محصول و هوای اطراف صورت نمی‌گیرد که منجر به تَرَک و شکست شود. در شرایط اول برای تبدیل حالت نشاسته‌ای به حالت شیشه‌ای دانه‌های برنج، رطوبت نسبی و دما به‌ترتیب برابر با ۲۰ درصد و۳۰ درجه سلسیوس تنظیم شدند. سپس، برای خروج رطوبت دانه‌های برنج و تغییر حالت شیشه‌ای به حالت لاستیکی و کشسانی، دما و رطوبت نسبی به‌ترتیب برابر با ۲۷ درصد و ۵۰ درجه سلسیوس تعیین شدند. در این شرایط محتوای رطوبت تعادلی برابر با ۷/۳ درصد تعیین شدند. محتوای رطوبت تعادلی با استفاده از نمودار سایکرومتری بیان می‌شود که در محور xها میزان رطوبت‌های نسبی (درصد) و در محور yها میزان رطوبت تعادلی بر پایه وزن تر (درصد) نشان داده می‌شوند (ASAE, 1998). مقدار ۷/۳ درصد بدین معناست رطوبت شلتوک در ارتباط با هوای اطراف به میزان ۷/۳ درصد می‌باشد که در این مقدار هیچ‌گونه جذب و دفع سطحی اتفاق نمی‌افتد.

بررسی ضایعات

برای محاسبه درصد وزنی در نمونه‌ها، دانه‌های دارای مشخصات بیان شده از آزمونه ۱۰۰ گرمی جداسازی شدند. برای تثبیت تَرَک دانه‌های پوست گرفته‌شده، بررسی تَرَک‌ها ۴۸ ساعت پس از خروج از آون انجام شد (Sadeghi *et al.*, 2016). برای تعیین درصد وزنی از میکروسکوپ با عدسی شیئی آکروماتیک ۴۰x استفاده شد. بررسی میزان ضایعات بر روی آزمونه ۱۰۰ گرمی پس از اتمام هر فرآیند صورت پذیرفت. ملاک تشخیص ضایعات، بازتاب نور دانه‌های پوست گرفته‌شده زیر میکروسکوپ بود که تَرَک‌های واضح محتمل به شکست، دانه‌های گچی، و سبز و نارس را نشان داد. ضایعات موجود شامل دانه‌های دو تَرَک ناکامل عرضی (به اختصار دو تَرَک)، سه تَرَک ناکامل طولی (به اختصار سه تَرَک) و تَرَک‌های لاک‌پشتی، دانه‌های گچی، و دانه‌های نارس بودند (شکل ۱).

طرح آماری مورداستفاده

در این پژوهش از طرح فاکتوریل بر پایه بلوک تصادفی برای بررسی میزان ضایعات به‌عنوان متغیر وابسته در نتیجه متغیرهای مستقل استفاده شد. در فرآیند اول، سه روش پیش خشک‌کردن در مزرعه (A_1 تا A_3) در دو سطح رطوبتی زمان برداشت ۱۹ و ۲۶ درصد متغیرهای مستقل، در پنج بلوک (شهرستان تالش و رضوانشهر هر کدام دو بلوک و شهرستان ماسال یک بلوک) و در سه تکرار با ۹۰ ترکیب فاکتوری بررسی شدند. در فرآیند دوم ترکیبی از فرآیند اول در شش سطح (سه روش پیش خشک‌کردن در مزرعه × دو سطح رطوبتی ۱۹ و ۲۶)، با زمان پیش از خرمنکوبی در سه سطح (B_1 تا B_3) به‌عنوان متغیرهای مستقل، در سه شهرستان به‌عنوان بلوک و در سه تکرار با ۱۶۲ ترکیب فاکتوری مورد مطالعه قرار گرفتند. در واقع فرآیند اول و دوم فرآیندهایی پیوسته بودند و اطلاعات به‌دست‌آمده در فرآیند دوم از مزارع مورد پژوهش در فرآیند اول بود. در فرآیند سوم، روش‌های استراحت‌دهی در خشک‌کن کارخانه با چهار سطح (C_1 تا C_4)، دما ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس، و سرعت باد ۰/۵ و ۰/۸ متر بر ثانیه به‌عنوان متغیرهای مستقل، در پنج بلوک (شهرستان تالش و رضوانشهر هر کدام دو بلوک و شهرستان ماسال یک بلوک) و در سه تکرار با ۲۴۰ ترکیب فاکتوری در نظر گرفته شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی آزمون مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح پنج درصد در نرم‌افزار Minitab© نسخه ۱۷ استفاده شد.

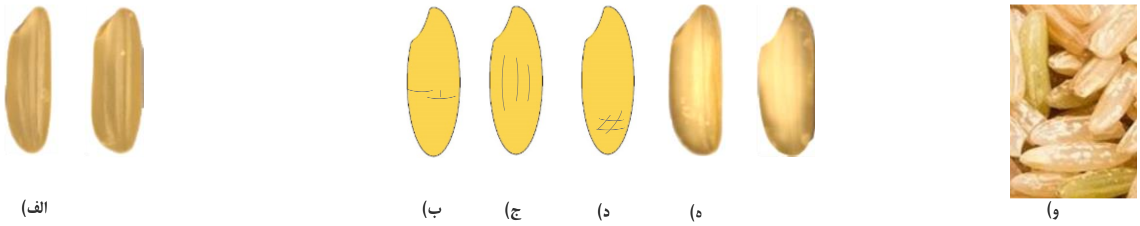
نتایج و بحث

فرآیند اول

برای مشخص شدن ضایعات برنج قهوه‌ای در سطح مزرعه، سه روش پیش خشک‌کردن و محتوای رطوبتی زمان برداشت، در پنج بلوک به‌عنوان شهرستان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس، اثرهای روش خشک‌کردن در سطح مزرعه و محتوای رطوبتی بر درصد ضایعات، در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس

1- Equilibrium Moisture Content (EMC)

نتایج جدول ۱، اثرهای اصلی فاکتور رطوبت نهایی برداشت و روش پیش‌خشک‌کردن و اثر متقابل دو فاکتور رطوبت و روش پیش‌خشک‌کردن، در سطح پنج درصد بر ایجاد ضایعات برنج قهوه‌ای معنادار بود (P<۰/۰۵). اثر بلوک‌بندی، تاثیری در نتایج آزمایش نداشت (P>۰/۰۵). مقدار ضریب تبیین اصلاح‌شده ۹۸/۸۳ درصد، نشان داد که تغییرات مربوط به عوامل مورد بررسی تقریبا با کل تغییرات برابر بود.



الف) a) ب) b) ج) c) د) d) ه) e) و) f)

شکل ۱ – الف) نمونه‌های مطلوب برنج قهوه‌ای، ب) دانه‌های دو تَرَک ناکامل عرضی، ج) سه تَرَک ناکامل طولی، د) تَرَک لاک‌پشتی، ه) دانه‌های گچی، و و) دانه‌های نارس

Fig.1. a) Desirable brown rice samples, b) Two incomplete horizontal cracks, c) Three incomplete vertical cracks, d) Tortoise pattern cracks, e) Chalky grains, and f) Immature grains

جدول ۱ – تجزیه واریانس اثرهای روش پیش خشک‌کردن، محتوای رطوبتی، و اثرهای متقابل بر درصد ضایعات

Table 1- Analysis of variance of pre-drying method, moisture content, and interaction effects on the losses

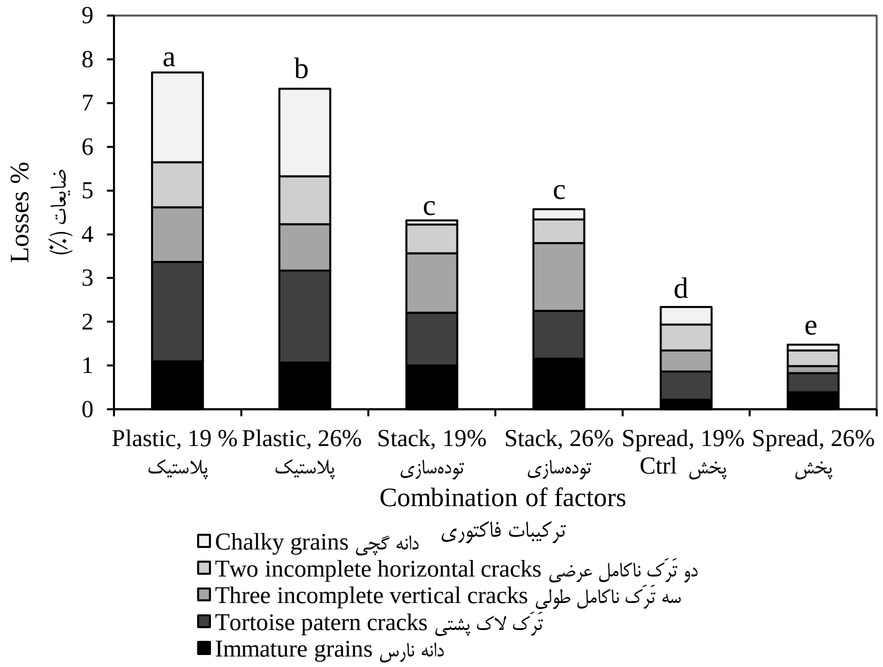
منبع تغییرات Source	درجه آزادی DF	مجموع‌مربعات اصلاح شده Adj SS	میانگین‌مربعات‌اصلاح‌شده Adj MS	مقدار F F-Value	مقدار P P-Value
روش پیش خشک‌کردن Pre-drying method	2	455.470	227.735	3465.10	0.000*
محتوای رطوبتی Moisture content	1	2.304	2.304	35.06	0.000*
بلوک (شهرستان) Block (County)	4	0.060	0.015	0.23	0.922ns
اثر متقابل دو فاکتور 2-Way interactions	2	4.668	2.334	35.51	0.000*
خطا Error	80	5.258	0.066		
مجموع Total	89	482.939			
ضریب تبیین اصلاح‌شده R^2-adjusted=98.83%					

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ns غیرمعنی‌دار

* Significant at 5% of probability level, ns= Non-Significant

با توجه به نتایج مقایسات میانگین (شکل ۲)، تفاوت چشم‌گیری در ایجاد دانه‌های گچی در استفاده از روش خشک‌کردن پنج ساعت و استفاده از پوشش پلاستیک (پخش+پلاستیک) وجود داشت. بدین صورت که دانه‌های گچی ناشی از قرارگیری در معرض دمای بالا و کمبود بسترهای نشاسته‌ای در اندوسپرم ظاهر شدند (Morita, Wada, & Matsue, 2016). همچنین، دانه‌های گچی علاوه بر شرایط تنش حرارتی، با توجه به تاثیری که از توزیع ناهمگون کود ازت و تراکم ناصحیح در فرآیندهای کشت و پرورش می‌گیرند، ایجاد می‌شوند و این دو عامل بر انباشت مواد به فرم نشاسته و پرشدن اندوسپرم در زمان پرشدگی تاثیر می‌گذارند (Zhou *et al.*, 2016; Gilani, AlamiSaeed, Siadat, & SeyyedNejad, 2012). دانه‌های گچی بر طعم و بوی محصول اثری ندارد، ولی بر بازده تبدیل موثرند. افزایش درصد دانه‌های گچی و نیز میزان ضایعات کل در دو روش پخش+پلاستیک و پخش کامل، با کاهش درصد رطوبت و در روش پخش پنج ساعت و توده (پخش+توده) با افزایش درصد رطوبت، رابطه مستقیم داشت. میانگین ضایعات کل در روش پخش+پلاستیک و پخش+توده نسبت به روش پخش کامل به‌ترتیب ۳/۹۵۸ برابر و ۲/۳۳۴ برابر بیشتر بود. میانگین ضایعات کل در سطح

رطوبتی ۲۶ و ۱۹ درصد به‌ترتیب ۴/۴۵۵ و ۴/۷۸۸ درصد بود. وجود دانه‌های نارس سبز در زمان برداشت در محتوای رطوبت بالاتر (۲۶ درصد)، در هر سه روش بیشتر بود که از این منظر با نتایج (Perdon, Siebenmorgen, & Mauromoustakos, 2000; Jodari & Linscombe, 1996) هم‌خوانی داشت. همین‌طور دماهای بالاتر، دلیل دیگر افزایش دانه‌های نارس در نواحی غربی و شمال شرقی ژاپن عنوان شده است (Terashima *et al.*, 2001). محققین بیان کرده‌اند که دانه‌های برنج نارس، همواره بسته به نوع و شرایط آب و هوایی تا حدودی تشکیل می‌شوند (Bhattacharya & Ali, 2015). همین‌طور، دانه‌های نارس افزایش ۳۵/۷۱ درصدی در محتوای اسیدهای چرب آزاد و حساسیت بالا به فسادپذیری در زمان قرارگیری سه ماهه در دمای اتاق از خود نشان داده‌اند (Yılmaz, Yılmaz Tuncel, & Tuncel, 2018). از نظر شرایط محیطی و آب و هوایی با شروع تابستان دمای هوا افزایش یافته و از میزان بارندگی‌ها کم شده، و تبخیر و تعرق محصول افزایش می‌یابد. بنابراین ممکن است محصول در این دوره تا حدودی با کمبود آب مواجه شده و حدی از تنش خشکی را تجربه کند. تداوم این شرایط می‌تواند در هنگام پرشدن دانه‌ها، میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای را در گیاه برنج کاهش داده و پیری برگ‌ها را تسریع کند (Zou *et al.*, 2007)؛ که به تبع دستگاه فتوسنتزی تخریب شده و مقدار کلروفیل کاهش یافته و در نهایت دانه‌ها دارای ضایعات خواهند بود. در روش پخش+توده بین رطوبت‌های زمان برداشت تفاوت معناداری بر بروز ضایعات وجود نداشت.



شکل ۲– درصد ضایعات برنج قهوه‌ای در ترکیب فاکتوری مختلف

Fig.2. Brown rice losses under different processing methods

کمترین و بیشترین درصد ضایعات بین ترکیب‌های فاکتوری، به‌ترتیب در سطح‌های رطوبتی ۲۶ و ۱۹ درصد در روش‌های پخش کامل و پخش+پلاستیک به‌طور میانگین، به‌میزان ۱/۴۶۵ درصد و ۷/۷۱۰ درصد مشاهده شد. همچنین، در روش پخش+توده در سطح رطوبتی ۱۹ درصد از بهترین ترکیب فاکتوری (پخش کامل در رطوبت ۲۶ درصد) دانه گچی کمتری به‌دست آمد. مجموع میزان ضایعات در روش پخش کامل در سطح رطوبتی ۲۶ درصد به‌طور چشم‌گیری از پخش کامل در سطح رطوبتی ۱۹ درصد (تیمار شاهد) کمتر بود.

فرآیند دوم

برای بررسی حالت‌های مختلف ضایعات، در فرآیند دوم در سطح مزرعه، ترکیبی از فرآیند اول (روش پیش خشک‌کردن و محتوای رطوبتی زمان برداشت) و فاصله‌های زمانی خشک‌کردن شالی در سطح مزرعه تا خرمنکوبی در سه شهرستان بررسی شدند. اثر نتایج تجزیه واریانس اثرهای بلوک‌بندی، زمان خشک‌کردن و ترکیب‌های فاکتوری پیش خشک‌کردن در سطح مزرعه بر میزان ضایعات در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج جدول ۲ به‌دلیل معناداری اثر مدل خطی، اثرهای اصلی فاکتور مرحله اول خشک‌کردن و فاکتور زمان و اثر متقابل دو فاکتور در سطح ۵ درصد مشخص شد که رابطه تاثیرگذاری بین تیمار، مدلی خطی، و نیز فاکتورها و متغیر وابسته وجود داشت (P<۰/۰۵). همین‌طور اثر بلوک‌بندی در انجام این

آزمایش بی‌تاثیر بود (P>۰/۰۵). مقدار ضریب تبیین اصلاح‌شده، نشان داد که ۹۶/۷۹ درصد از داده‌ها توسط مدل توضیح، توجیه و پوشش داده شدند. علاوه بر این، نتایج مقایسات میانگین در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج مقایسات میانگین (شکل ۳)، بیشترین درصد ضایعات در شرایط خرمنکوبی ۱۴ تا ۱۹ ساعت پس از پخش+پلاستیک در سطح رطوبتی ۱۹ درصد به میزان ۸/۴۴۶ درصد بود که در این ترکیب فاکتوری، سهم دانه‌های تَرَک لاک‌پشتی و دانه‌های گچی در مجموع ۵۶/۳۲ درصد بود.

جدول ۲– نتایج تجزیه واریانس اثرهای پیش خشک‌کردن، زمان، و اثرهای متقابل بر درصد ضایعات

Table 2- Analysis of variance of pre-drying, time, and interaction effects on the loss percentage

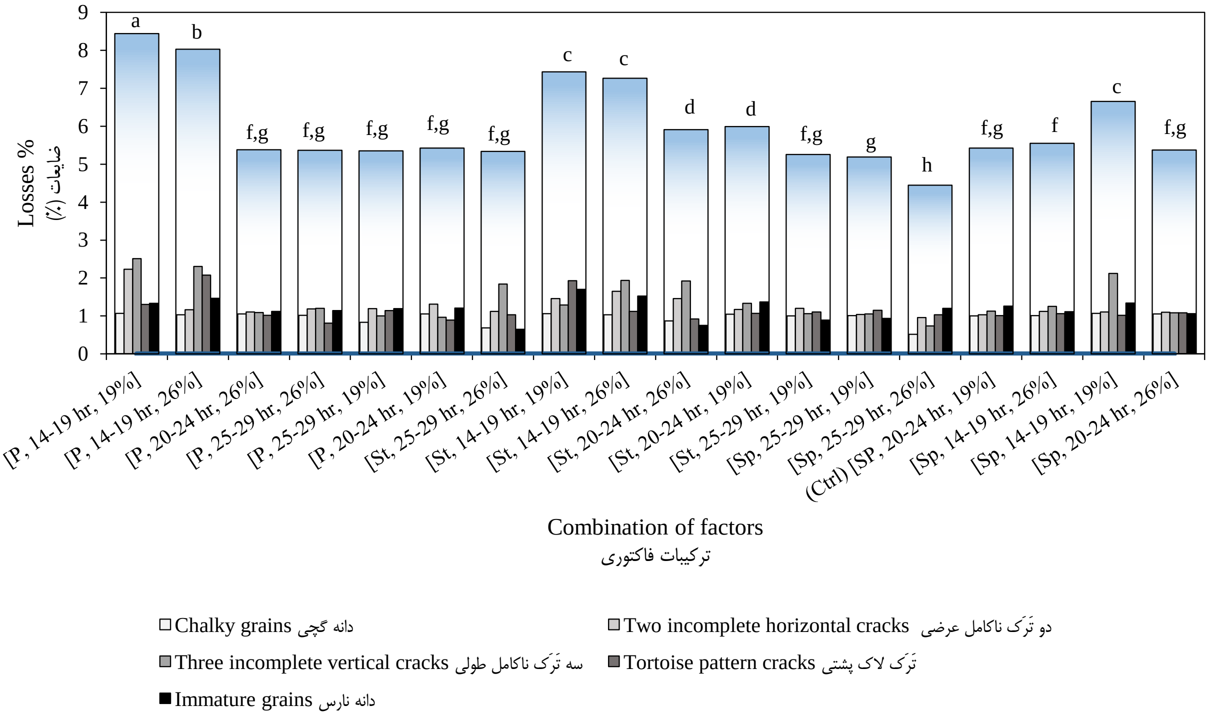
منبع تغییرات Source	درجه آزادی DF	مجموع‌مربعات‌اصلاح‌شده Adj SS	میانگین‌مربعات‌اصلاح‌شده Adj MS	مقدار F F-Value	مقدار P P-Value
مدل Model	19	186.705	9.8266	256.43	0.000*
بلوک (شهرستان) Block (City)	2	0.029	0.0144	0.38	0.687ns
مدل خطی Linear model	7	160.068	22.8668	596.72	0.000*
روش پیش خشک‌کردن Pre-drying method	5	31.198	6.2395	162.82	0.000*
زمان Time	2	128.870	64.4349	1681.47	0.000*
اثر متقابل دو فاکتور 2-Way interactions	10	26.609	2.6609	69.44	0.000*
خطا Error	142	5.442	0.0383		
مجموع Total	161	192.147			
ضریب تبیین اصلاح‌شده R^2-adjusted= 96.79%					

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ns غیرمعنی‌دار

* Significant at 5% of probability level, ns= Non-Significant

نتایج مقایسات میانگین (شکل ۳) نشان داد که کمترین میزان ضایعات در فاصله زمانی ۲۵ تا ۲۹ ساعت خرمنکوبی پس از پخش کامل در سطح رطوبتی ۲۶ درصد به میزان ۴/۴۴۳ درصد بود. در این ترکیب فاکتوری، به‌ترتیب سهم دانه‌های تَرَک لاک‌پشتی، دانه نارس و دو تَرَک ناکامل عرضی از مجموع ضایعات به‌ترتیب ۲۳/۱۸۳، ۲۷/۰۰۹ و ۲۱/۵۴۰ درصد بود که به‌طور معناداری از ضایعات دانه‌های گچی و سه تَرَک بیشتر بود. سهم دانه‌های تَرَک‌دار در تیمار شاهد (پخش کامل ۲۰ تا ۲۴ ساعت و برداشت در محتوای رطوبتی ۱۹ درصد)، ۵۸/۳۲۰ درصد بود. دماهای بالای روز در طول مرحله پرشدن دانه در ایجاد تَرَک، تاثیر مستقیم دارد (Abayawickrama *et al.*, 2017). علاوه بر این، در تیمار سوم، تَرَک‌ها، به‌دلیل افزایش گرادیان رطوبتی ناشی جذب سطحی ناشی از محبوس بودن دانه در زیر پوشش و قرار گیری در توده، و عدم امکان تنفس مطلوب و رطوبت نسبی بالای هوای اطراف دانه، ایجاد شد (Jodari & Linscombe, 1996). ایشان علاوه بر رطوبت نسبی محیط، بارش و رطوبت نهایی زمان برداشت محصول را در بازده تبدیل موثر دانستند. بارش در طول دوره رشد محصول امری ناگزیر است. تغییرات آب و هوایی در فصل برداشت می‌تواند باعث ایجاد تَرَک شود؛ علاوه بر این، تنوع در روش‌های خشک‌کردن و نیز شرایط محیطی می‌تواند توزیع محتوای رطوبتی خاصی در مرکز و سطح دانه ایجاد کند که به‌واسطه قرارگیری در شرایط آب و هوایی مختلف، شکل‌های مختلفی از تَرَک ایجاد می‌شود (Siebenmorgen, Bautista, & Counce, 2007).

در میان شکل‌های مختلف ضایعات، دانه‌های گچی در ترکیب‌های فاکتوری، درصد تقریبا ثابت‌تری داشت. همچنین، نتایج شکل ۳ نشان داد که مجموع ضایعات در سطح‌های رطوبتی ۱۹ و ۲۶ درصد بین فاصله زمانی ۲۰ تا ۲۴ ساعت روش خشک‌کردن پخش+توده و همچنین ۲۵ تا ۲۹ ساعت روش خشک‌کردن پخش+پلاستیک اختلاف معنادار آماری وجود نداشت. همچنین ۱۴ تا ۱۹ ساعت پخش+توده تفاوت آماری بین سطح‌های رطوبتی ۱۹ و ۲۶ درصد مشاهده نشد.



شکل ۳- درصد ضایعات برنج قهوه‌ای در ترکیب فاکتوری مختلف (P: روش پخش+پلاستیک، St: روش پخش+توده، Sp: روش پخش کامل، hr: ساعت پیش از خرمنکوبی، ٪: محتوای رطوبتی زمان برداشت، Ctrl: تیمار شاهد)

Fig.3. Brown rice losses percent under different combinations of processing methods (P: Spread+Plastic, St: Spread+Stack, Sp: Spread, hr: hour before threshing, %: Moisture contents, and Ctrl: Control treatment)

علاوه بر این، با توجه به شکل ۳، تفاوت معنادار آماری در سطح رطوبتی ۱۹ درصد در فاصله زمانی ۲۰ تا ۲۴ ساعت و ۲۶ درصد در فاصله زمانی ۱۴ تا ۱۹ ساعت در خشک‌کردن پخش+توده وجود داشت. دانه‌های ضعیف در تیمار اول به‌دلیل قرارگیری در معرض تابش بیشتر خورشید، شکننده‌تر شده و این عامل موجب ایجاد تَرَک شد. به‌طور معمول سه هفته تا یک ماه پس از شروع خوشه‌زایی، دانه به شکل سبز نارس می‌باشد (Hoon, Kim, Ha, & Park, 2016). نتایج تحقیقی که بر روی برنج دانه بلند مزارع کالیفرنیا انجام شده، نشان داده است که هرچه مدت ماندگاری شالی‌ها در مزارع کمتر باشند (محتوای رطوبت محصول بیشتر باشند) و زودتر وارد مرحله‌ی خشک‌کردن در کارخانه‌های تبدیل شوند، افزایش چشم‌گیری در سطوح متابولیت‌های میکروبی فرار و ضایعات ناشی از آن‌ها می‌شوند (Champagne *et al.*, 2004). میانگین ضایعات در فاصله زمانی ۱۴ تا ۱۹، ۲۰ تا ۲۴ و ۲۵ تا ۲۹ ساعت به‌ترتیب ۷/۲۲۹، ۵/۵۸۵ و ۵/۱۵۶ درصد بود. همین‌طور، استفاده از روش پخش کامل ۲۵ تا ۲۹ ساعت و برداشت در محتوای رطوبتی ۲۶ درصد نسبت به پخش کامل ۲۰ تا ۲۴ ساعت و برداشت در محتوای رطوبتی ۱۹ درصد (تیمار شاهد)، بیشترین تاثیر را از لحاظ کاهش درصد دانه‌های گچی و سه‌تَرَک ناکامل طولی به‌ترتیب به میزان ۹۴/۳۷۹ و ۵۲/۱۶۲ درصد داشت و فقط این ترکیب فاکتوری از نظر آماری اختلاف چشم‌گیری در کاهش ضایعات کل (۲۲/۲۲۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد داشت. در میان شکل‌های مختلف ضایعات، دانه‌های گچی در ترکیب‌های فاکتوری، درصد تقریبا ثابت‌تری داشتند.

فرآیند سوم

برای مشخص شدن شکل‌های مختلف ضایعات، اثرهای روش خشک‌کردن در سطح کارخانجات (استراحت‌دهی)، سرعت باد و دمای خشک‌کردن، در قالب پنج بلوک (شهرستان) بررسی شدند. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ آمده است. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان از معناداری اثرهای تیمار، مدل خطی، و اثرهای اصلی فاکتورهای روش استراحت‌دهی، سرعت هوا و دما، و اثر متقابل دو فاکتور روش و دمای خشک‌کردن و روش استراحت‌دهی و سرعت هوا داشت. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، فاکتور دما در تقابل با سرعت هوا تاثیر چشم‌گیری بر متغیر پاسخ، در سطح پنج درصد نداشت (P>۰/۰۵). مقدار ضریب تبیین اصلاح‌شده ۸۸/۱۴ درصد، نشان از صحت بالای مدل داشت. علاوه بر این، نتایج

مقایسات میانگین در شکل ۴ آمده است. نتایج مقایسات میانگین، نشان داد بیشینه و کمینه میزان ضایعات به‌ترتیب در روش‌های دو مرحله‌ای با ده ساعت استراحت‌دهی و سه مرحله‌ای با ۱۵ ساعت استراحت‌دهی، دمای خشک‌کن ۵۰ و ۴۰ درجه سلسیوس، و سرعت باد ۰/۸ و ۰/۵ متر بر ثانیه صورت پذیرفت. علی‌رغم این‌که، از نظر کمترین میزان ضایعات، تفاوت معناداری در روش سه مرحله‌ای در زمان استراحت‌دهی ۱۰ ساعت و ۱۵ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه وجود نداشت. همین‌طور در سرعت باد ۰/۸ متر بر ثانیه تفاوت معنادار آماری بین روش‌های مختلف استراحت‌دهی در دمای بین ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس مشاهده نشد. همچنین، از میان روش‌های استراحت‌دهی در سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه، با افزایش دما میزان ضایعات به‌طور معناداری افزایش یافت. اگرچه در سرعت باد ۰/۸ متر بر ثانیه به‌جز در روش استراحت‌دهی دو مرحله‌ای ۱۰ ساعت، چنین روندی وجود نداشت. همچنین، بررسی مقایسه‌ها نشان داد که همه روش‌های استراحت‌دهی غیر از روش استراحت‌دهی دو مرحله‌ای ۱۰ ساعت، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۰/۵ و ۰/۸ متر بر ثانیه نسبت به تیمار شاهد عملکرد بهتری داشتند. نتایج بررسی نشان داده است سرعت باد ۲/۶۵ نسبت به چهار متر بر ثانیه در دمای خشک‌کردن ۵۰ درجه سلسیوس تاثیر چشم‌گیری بر کاهش درصد شکست دانه داشته است (Ghodrati & Kalantari, 2016). نتایج مطالعه‌ای بر روی شلتوک با محتوای رطوبتی ۱۶ و ۲۰/۵ درصد با رطوبت نسبی هوا ۱۳ و ۵۷ درصد در سه آهنگ جریان هوا ۰/۳۶، ۰/۴۶ و ۰/۵۶ متر مکعب بر ثانیه نشان داده که هرچه شدت خشک‌کردن بیشتر باشد و محتوای رطوبتی کمتر از حالت تعادل باشد، میزان گرادیان مواد نشاسته‌ای دانه بیشتر شده که این مسئله موجب درصد تَرَک بیشتر شده است (Mukhopadhyay & Siebenmorgen, 2018). نتایج بررسی دیگری نشان داده است که سرعت جریان هوا تاثیر معناداری در سطح ۵ درصد بر برنج سفید سالم نداشته است؛ همین‌طور حالت بهینه متغیرها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، زمان خشک‌کردن ۶۰۰ دقیقه، و سرعت جریان باد یک متر بر ثانیه با میزان برنج سفید سالم ۷۳/۹۳ درصد مشاهده شده است (Soomro, Chen, & Soomro, 2020).

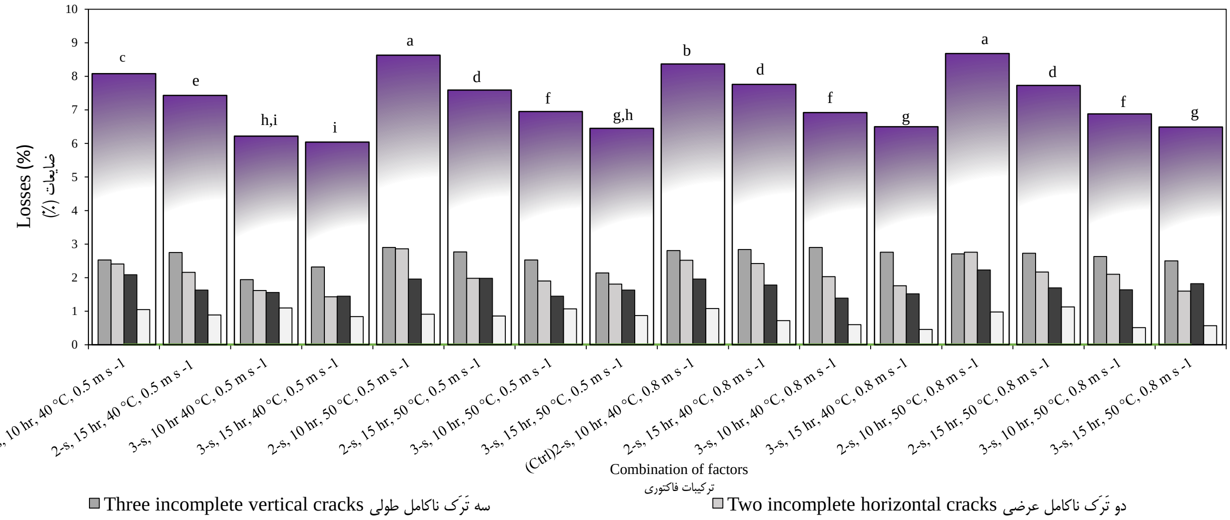
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرهای روش استراحت‌دهی، سرعت هوا، دما، و اثرهای متقابل بر درصد ضایعات

Table 3- Analysis of variance of tempering method, air velocity and temperature, and interaction effects on the losses

منبع تغییرات Source	درجه آزادی DF	مجموع‌مربعات‌اصلاح‌شده Adj SS	میانگین‌مربعات‌اصلاح‌شده Adj MS	مقدار F F-Value	مقدار P P-Value
Model مدل	19	168.084	8.8465	94.49	0.000*
Block (City) بلوک (شهرستان)	4	0.227	0.0568	0.61	0.658*
Linear model مدل خطی	5	163.341	32.6682	348.93	0.000*
Temperature دما	1	4.499	4.4991	48.05	0.000*
Air velocity سرعت هوا	1	3.179	3.1786	33.95	0.000*
Tempering استراحت‌دهی	3	155.663	51.8877	554.21	0.000*
2-Way interactions اثر متقابل دو فاکتور	7	3.854	0.5506	5.88	0.000*
استراحت‌دهی× سرعت هوا Air velocity× Tempering	3	2.752	2.7520	29.39	0.000*
استراحت‌دهی × دما Temperature × Tempering	3	0.894	0.2979	3.18	0.025*
دما ×سرعت هوا Temperature × Air velocity	1	0.209	0.0695	0.74	0.528ns
اثر متقابل سه فاکتور 3-Way interactions	3	0.662	0.2206	2.36	0.073ns
Error خطا	220	20.597	0.0936		
Total مجموع	239	188.681			
ضریب تبیین اصلاح‌شده R^2-adjusted= 88.14%					

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ns غیرمعنی‌دار

*Significant at 5% of probability level, ns= Non-Significant



شکل ٤– درصد ضایعات برنج قهوه‌ای در ترکیب‌های فاکتوری (2, 3-S: دو و سه مرحله‌ای، hr: زمان استراحت‌دهی، ˚C: دمای خشک‌کردن، m s-1: سرعت جریان باد، Ctrl: تیمار شاهد)

Fig.4. Brown rice losses percent under different processing methods (2, 3-S: 2, 3-stage, hr: Tempering hours, ˚C: Drying temperature, m s^{-1}: Air velocity, and Ctrl: Control treatment)

نتیجه‌گیری

در بررسی عوامل موثر بر ایجاد ضایعات در برنج قهوه‌ای، روش پخش‌کردن کامل درسطح مزرعه (با محتوای رطوبت نهایی برداشت ۲۶ درصد در بازه زمانی ۲۵ تا ۲۹ ساعت خشک‌کردن پیش از خرمنکوبی)، کمترین میزان ضایعات را نسبت به تیمار شاهد (برداشت در محتوای رطوبتی ۱۹ درصد در بازه زمانی ۲۰ تا ۲۴ ساعت خشک‌کردن پیش از خرمنکوبی) داشت. پیش خشک‌کردن پنج ساعت و استفاده از توده‌سازی و پوشش پلاستیک به لحاظ تاثیری که بر افزایش میزان ضایعات برنج قهوه‌ای دارند، توصیه نمی‌شود. علاوه بر این، در سطح کارخانجات تبدیل، روش استراحت‌دهی سه مرحله‌ای ۱۵ ساعت، سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه و دمای ۴۰ درجه سلسیوس با اختلاف مقدار میانگین ۲/۶۲۰ درصد نسبت به روش استراحت‌دهی دو مرحله‌ای ۱۰ ساعت، سرعت باد ۰/۸ متر بر ثانیه و دمای ۴۰ درجه سلسیوس (تیمار شاهد) کمترین میزان ضایعات را داشت، اما بین ۱۰ و ۱۵ ساعت زمان استراحت‌دهی در روش استراحت‌دهی سه مرحله‌ای با سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه، تحت دمای ۴۰ درجه سلسیوس تفاوت چشم‌گیر آماری در سطح ۵ درصد وجود نداشت. از این روی، پیشنهاد می‌شود به لحاظ اهمیت زمان‌بندی در مدیریت واحد خشک‌کن‌ها از سریع‌ترین زمان استراحت‌دهی مطلوب استفاده شود. مجموع ضایعات در ترکیب فاکتوری تیمارهای شاهد ۱۶/۱۳۵ درصد بود. این در حالی است که نتیجه تحقیق حاضر نشان داد در بهترین ترکیب فاکتوری از پیش خشک‌کردن در مزرعه تا پس از خشک‌کردن در کارخانه (استراحت‌دهی) می‌توان این میزان را به ۱۱/۹۳۳ درصد کاهش داد، که لزوم توجه هرچه بیشتر شالی‌کاران و مدیریت کارخانجات تبدیل را می‌طلبد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد برای تأمین اعتبار این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Abayawickrama, A. S. M. T., Reinke, R. F., Fitzgerald, M. A., Harper, J. D., & Burrows, G. E. (2017). Influence of high daytime temperature during the grain filling stage on fissure formation in rice. *Journal of Cereal Science, 74*, 256-262. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.013
2. Allameh, A., & Alizadeh, M. R. (2013). Evaluating rice losses in delayed rough rice drying. *International Journal of Agronomy and Plant Production, 4*(4), 799-804.
3. Anonymous. (2018). Crops. Office of statistics and information technology. Department of Planning and Economics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. pp.87. (In Persian).
4. ASAE. (1998). ASAE Standard D245.5: Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products. St. Joseph,

MI.
5. Bhattacharya, K. R., & Ali, S. Z. (2015). *An introduction to rice-grain technology*. CRC Press. USA. https://doi.org/10.1201/b18904
6. Bootkote, P., Soponronnarit, S., & Prachayawarakorn, S. (2016). Process of producing parboiled rice with different colors by fluidized bed drying technique including tempering. *Food and Bioprocess Technology, 9*(9), 1574-1586. https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-016-1737-7
7. Champagne, E. T., Thompson, J. F., Bett-Garber, K. L., Mutters, R., Miller, J. A., & Tan, E. (2004). Impact of storage of freshly harvested paddy rice on milled white rice flavor. *Cereal Chemistry, 81*(4), 444-449. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.4.444
8. Dong, R., Lu, Z., Liu, Z., Koide, S., & Cao, W. (2010). Effect of drying and tempering on rice fissuring analysed by integrating intra-kernel moisture distribution. *Journal of Food Engineering, 97*(2), 161-167. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.005
9. Eshtavad, R., Kalantari, D., Hashemi, S., & Pirdashti, H. (2016). Influence of drying rate and tempering period on the paddy breakage in the thin layer drying method. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 5*(1), 87-104. (In Persian). https://doi.org/10.22101/JRIFST.2016.06.01.517
10. Gazor, H., & Moumeni, A. (2019). Comparison of the paddy drying process and milling quality between re-circulating and conventional batch type dryers. *Journal of Agricultural Machinery, 9*(2), 365-374. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jam.v9i2.72761
11. Ghodrati, A., & Kalantari, D. (2016). Investigation the influence of variety, temperature and air velocity parameters in qualitative performance of a thin layer paddy dryer. *Innovative Food Technologies, 4*(1), 93-102. (In Persian). https://doi.org/10.22104/jift.2016.331
12. Gilani, A., AlamiSaeed, K., Siadat, S. A., & SeyyedNejad, M. (2012). Study of heat stress effect on rice cultivars grain milling quality in Khuzestan. *Crop Physiology, 4*(14), 5-21. (In Persian).
13. Gimenez, E., Salinas, M., & Manzano-Agugliaro, F. (2018). Worldwide research on plant defense against biotic stresses as improvement for sustainable agriculture. *Sustainability, 10*(2), 391. https://doi.org/10.3390/su10020391
14. Golmohammadi, M., Rajabi-Hamane, M., & Hashemi, S. J. (2012). Optimization of drying–tempering periods in a paddy rice dryer. *Drying Technology, 30*(1), 106-113. https://doi.org/10.1080/07373937.2011.618281
15. Heidari Soltanabadi, M., Malek, S., Ghazvini, H. R., Shaaker, M., & Hedayati Zadeh, M. (2010). Losses in blade and abrasive systems by moisture content for three rice varieties. *Journal of Agricultural Engineering Research, 11*(1), 67-84. (In Persian).
16. Hoon, K., Kim, O. W., Ha, A.W., & Park, S. (2016). Determination of optimal harvest time of chuchung variety green rice® (*Oryza sativa* L.) with high contents of GABA, γ-oryzanol, and α-tocopherol. *Preventive Nutrition and Food Science, 21*(2), 97. https://doi.org/10.3746/pnf.2016.21.2.97
17. Jodari, F., & Linscombe, S. D. (1996). Grain fissuring and milling yields of rice cultivars as influenced by environmental conditions. *Crop Science, 36*(6), 1496-1502. https://doi.org/10.2135/CROPSCI1996.0011183X003600060014X
18. Khodabakhshi Pour, M., Alizadeh, M. R., Bolouki, M. S., & Ghasemi, A. (2011). Effect of paddy moisture content, drum speed and feed rate on the qualitative losses in a paddy axial flow–thresher. *Iranian Journal of Biosystems Engineering, 42*(1), 37-41. (In Persian).
19. Krzyżanowski, M., Kuna-Dibbert, B., & Schneider, J. (Eds.). (2005). Health effects of transport-related air pollution. WHO Regional Office Europe.
20. Li, X. J., Wang, X., Li, Y., Jiang, P., & Lu, H. (2016). Changes in moisture effective diffusivity and glass transition temperature of paddy during drying. *Computers and Electronics in Agriculture, 128*, 112-119. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.025
21. Mohajeran, S. H., Khoshtaghaza, M. H., & Moazami Gudarzi, A. (2006). Effect of rough rice temperature and air velocity on grain crack during infrared radiation drying. *Food Science and Technology, 3*(9), 57-66. (In Persian).
22. Morita, S., Wada, H., & Matsue, Y. (2016). Counter measures for heat damage in rice grain quality under climate change. *Plant Production Science, 19*(1), 1-11. https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128114
23. Mukhopadhyay, S., & Siebenmorgen, T. J. (2018). Effect of airflow rate on drying air and moisture content profiles inside a cross-flow drying column. *Drying Technology, 36*(11), 1326-1341. https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1402024
24. Perdon, A., Siebenmorgen, T. J., & Mauromoustakos, A. (2000). Glassy state transition and rice drying: Development of a brown rice state diagram. *Cereal Chemistry, 77*(6), 708-713. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.6.708
25. Poomsa-ad, N., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., & Terdyothin, A. (2002). Effect of tempering on subsequent drying of paddy using fluidisation technique. *Drying Technology, 20*(1), 195-210. https://doi.org/10.1081/DRT-120001374
26. Sadeghi, M., Ghasemi, A., & Mireei, S. A. (2016). Rough rice stress fissuring with respect to conditions of drying and tempering processes. *Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47*(2), 278-269. (In Persian).

https://doi.org/10.22059/ijbse.2016.58776

27. Siebenmorgen, T. J., Bautista, R. C., & Counce, P. A. (2007). Optimal harvest moisture contents for maximizing milling quality of long-and medium-grain rice cultivars. *Applied Engineering in Agriculture, 23*(4), 517-527. https://doi.org/10.13031/2013.23476
28. Soomro, S. A., Chen, K., & Soomro, S. A. (2020). Mathematical modelling and optimisation of low-temperature drying on quality aspects of rough rice. *Journal of Food Quality*, *2020*(3), 1-10. https://doi.org/10.1155/2020/6501257
29. TajaddodiTalab, K. (2005). The effect of multi passes drying on milling yield and drying time of paddy. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *6*, 113-124. (In Persian).
30. Terashima, K., Saito, Y., Sakai, N., Watanabe, T., Ogata, T., & Akita, S. (2001). Effects of high air temperature in summer of 1999 on ripening and grain quality of rice. *Japanese Journal of Crop Science*, *70*(3), 449-458. (Japanese with English abstract). https://doi.org/10.1626/JCS.70.449
31. Truong, T., Truong, V., Fukai, S., & Bhandari, B. (2012). Changes in cracking behavior and milling quality of selected Australian rice varieties due to post drying annealing and subsequent storage. *Drying Technology*, *30*(16), 1831-1843. https://doi.org/10.1080/07373937.2012.710692
32. Tsukaguchi, T., & Iida, Y. (2008). Effects of assimilate supply and high temperature during grain-filling period on the occurrence of various types of chalky kernels in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science, 11*(2), 203-210. https://doi.org/10.1626/pps.11.203
33. Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B., & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, *268*, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730
34. Xangsayasane, P., Vongxayya, K., Phongchanmisai, S., Mitchell, J., & Fukai, S. (2019). Rice milling quality as affected by drying method and harvesting time during ripening in wet and dry seasons. *Plant Production Science*, *22*(1), 98-106. https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1544463
35. Yılmaz, F., Yılmaz Tuncel, N., & Tuncel, N. B. (2018). Stabilization of immature rice grain using infrared radiation. *Food Chemistry*, *253*, 269-276. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.172
36. Zhou, C., Huang, Y., Jia, B., Wang, Y., Wang, Y., Xu, Q., Li, R., Wang, S., & Dou. F. (2016). Effects of cultivar, nitrogen rate, and planting density on rice-grain quality. *Agronomy*, *8*(11), 246. https://doi.org/10.3390/agronomy8110246
37. Zou, G. H., Liu, H. Y., Mei, H. W., Liu, G. L., Yu, X. Q., Li, M. S., Wu, J. H., Chen, L., & Luo, L. J. (2007). Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. *Journal of Integrative Plant Biology*, *49*(10), 1508-1516. https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00560.x